

遅発中性子成分に着目した自己相関法に関する検討 (2) 遅発・即発中性子減衰定数を利用した未臨界度測定

Study on autocorrelation method focusing on delayed neutron component

(2) Subcriticality measurement utilizing delayed and prompt neutron decay constants

*廣田 諒我¹, 遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹, 渡辺 賢一², 金子 純一³

¹名古屋大学, ²九州大学, ³北海道大学

本研究では、炉雑音解析手法の1つである自己相関法において、中性子検出時間幅を大きくすることで、遅発中性子成分の減衰定数が分析可能か検討した。また、即発中性子減衰定数と、遅発中性子成分の減衰定数から、反応度方程式に基づいてドル単位の未臨界度を推定することを試みた。

キーワード：未臨界度，自己相関法，即発中性子減衰定数，遅発中性子，反応度方程式

1. 緒言 東京電力福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出を安全かつ確実に遂行するためには、未臨界度測定が重要となる。本研究で対象とする自己相関法は炉雑音解析による未臨界度測定法の1つであり、炉雑音を自己相関関数で分析することで、即発中性子減衰定数 α を測定することができる。即発中性子減衰定数から未臨界度に換算するためには中性子生成時間 Λ や実効遅発中性子割合 β_{eff} の事前情報が別途必要になるが、これらのパラメータは体系(減速材/燃料比など)に依存して変化し、燃料デブリ体系では主に Λ の不確かさが大きいという課題がある。そこで本研究では、自己相関法において中性子検出時間幅を大きくし、遅発中性子成分に着目することで、 Λ , β_{eff} の事前情報を必要としない未臨界度推定手法を開発することを目的とした。

2. 提案手法 遅発中性子6群の1点炉動特性方程式に基づくと、体系内の中性子数時間変化は反応度方程式の根 ω_j ($\omega_7 \ll \omega_6 < \dots < \omega_1$)からなる7つの指数関数の和で表現できる。従来の自己相関法では、中性子の検出時間幅 Δt を $\Lambda = 10^{-4}$ (s)のオーダーに対応する値に設定することで、即発中性子減衰定数 $\alpha = -\omega_7$ のみを分析していた。本研究では、検出時間幅 Δt を遅発中性子先行核数の減衰に対応するオーダーの値に設定することで、遅発中性子成分に対応する減衰定数 $-\omega_j$ を分析することを試みた。仮に、2つの減衰定数 $-\omega_7$ と $-\omega_j$ が測定できた場合、主要な核分裂性核種の相対遅発中性子収率 a_i と崩壊定数 λ_i のみ入力値として与えることで、反応度方程式を変形して得られた式(1)に基づくことで、①ドル単位の反応度 ρ/β_{eff} と②臨界時の $\alpha_c = \beta_{\text{eff}}/\Lambda$ を同時推定することができる。

$$\begin{pmatrix} \frac{\rho}{\beta_{\text{eff}}} \\ \frac{\Lambda}{\beta_{\text{eff}}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\omega_7 \\ 1 & -\omega_j \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^6 \frac{\omega_7 a_i}{\omega_7 + \lambda_i} \\ \sum_{i=1}^6 \frac{\omega_j a_i}{\omega_j + \lambda_i} \end{pmatrix} \dots (1)$$

3. 結果 炉停止状態の近畿大学原子炉で得られた炉雑音測定データに対して、提案手法を適用した。まず、検出時間 $\Delta t = 5 \times 10^{-4}$ (s)と設定することで、即発中性子減衰定数 $-\omega_7 = 148.4 \pm 0.6$ (1/s)を得た。次に、検出時間幅を $\Delta t = 5 \times 10^{-1}$ (s)と大きく設定することで、自己相関関数を求めた(図1)。図1の結果にフィッティング式 $r(\tau) = Ae^{\omega\tau} + B$ で非線形最小二乗法を適用したところ、遅い減衰定数 $-\omega_j$ を分析できることが分かった。得られた2つの減衰定数を式(1)に代入することで、近畿大学原子炉の動特性パラメータと $-\omega_7$ を反応度方程式に代入して求めた参照値から約6%の相対差でドル単位の反応度を推定できた。以上より、遅い減衰定数の測定結果も活用することで、 Λ や β_{eff} に関する情報が無くてもドル単位未臨界度を推定できる見込みを得た。

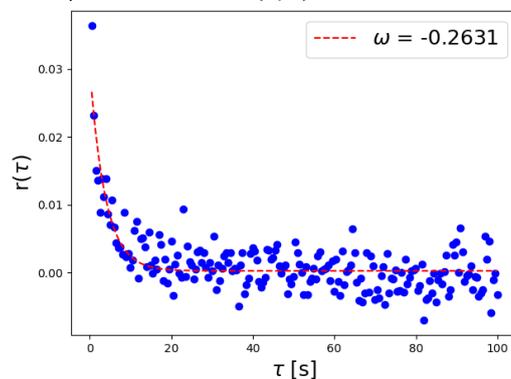


図1 $\Delta t = 5 \times 10^{-1}$ (s)での自己相関関数

謝辞 本研究はJAEA英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業(JPJA23P23813844)の助成による。

*Ryoga Hirota¹, Tomohiro Endo¹, Akio Yamamoto¹, Kenichi Watanabe², and Junichi H. Kaneko³

¹Nagoya Univ., ²Kyushu Univ., ³Hokkaido Univ.